



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Off nl gungsschrift
⑩ DE 43 08 796 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 M 7/02
G 01 H 1/00
// G 01 M 13/04

②1 Aktenzeichen: P 43 08 796.5
②2 Anmeldetag: 19. 3. 93
④3 Offenlegungstag: 22. 9. 94

DE 43 08 796 A 1

⑦1 Anmelder:

Seeliger, Andreas, Prof. Dr.-Ing., 5100 Aachen, DE;
Burgwinkel, Paul, Dr.-Ing., 5100 Aachen, DE; Geropp,
Bernd, Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE; Keßler,
Hans-Willi, Dipl.-Ing., 52379 Langerwehe, DE

⑦4 Vertreter:

Meinke, J., Dipl.-Ing.; Dabringhaus, W., Dipl.-Ing.;
Meinke, J., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 44137 Dortmund

⑦2 Erfinder:

Geropp, Bernd, Dipl.-Ing., 5100 Aachen, DE; Keßler,
Hans-Willi, Dipl.-Ing., 5163 Langerwehe, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile

⑤7 Mit einer Vorrichtung zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile mit einem Schwingungsaufnehmer und einer Einrichtung zur Filterung und Demodulierung des aufgenommenen Schwingungssignals des jeweiligen schwingungserregten Bauteils, soll eine Lösung geschaffen werden, mit der auch bei niedrigen Drehzahlen oder Wiederholungsfrequenzen eine zuverlässige, einwandfreie Signalaufnahme und Demodulation bei geringem apparativen Aufwand möglich ist.
Dies wird dadurch erreicht, daß der Schwingungsaufnehmer von einem eine nichtlineare Kennlinie aufweisenden Vibrationssensor gebildet ist und die Einrichtung zur Filterung und Demodulierung wenigstens einen dem Vibrationssensor nachgeschalteten Gleichrichter oder dgl. zur Hüllkurvenbildung und einen Tief- und/oder Bandpaßfilter aufweist.

DE 43 08 796 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 94 408 038/336

12/32

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile mit einem Schwingungsaufnehmer und einer Einrichtung zur Filterung und Demodulierung des aufgenommenen Schwingungssignals des jeweiligen Bauteils sowie ein Verfahren zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile, bei welchem das Schwingungssignal des jeweiligen schwingungserregten Bauteils zeitabhängig aufgenommen wird, wobei anschließend dieses Schwingungssignal ggf. einer Filterung unterzogen, nachfolgend demoduliert und anschließend das demodulierte Signal ausgewertet wird.

Die Schwingungsanalyse findet schon seit langem Anwendung bei der Schadensdiagnose an Maschinen. Zur Erkennung von Maschinenschäden ist in den meisten Fällen die reine Beurteilung der Schwingstärke nicht aussagekräftig. Insbesondere bei komplexen Maschinen läßt sich ein Schaden weder im Zeitsignal noch im Frequenzspektrum eindeutig diagnostizieren.

Bei einem Wälzlager beispielsweise erzeugen diskrete Fehler in den verschiedenen Elementen bei ihrer Überrollung eine periodische Folge von Einzelstößen. Diese Stoßimpulse regen Strukturresonanzen des Lagers oder angrenzender Maschinenteile an. Im Schwingungsbild tritt demnach eine regelmäßige Folge von angestoßenen Schwingungen auf, die bis zum nächsten Anstoß teilweise oder vollständig ausgeschwungen sind.

Die Impulsfolgefrequenz ist spezifisch für den Wälzlagerschaden und läßt sich bei Kenntnis der Geometrie des Lagers sowie der Drehzahl ermitteln. Je nach Schadensort, beispielsweise Außenring, Innenring, Wälzkörper, ergeben sich unterschiedliche Impulsfolgefrequenzen, die als kinematische Lagerfrequenzen bezeichnet werden. Im Zeit- und Frequenzbereich sind sie nur schwer erkennbar, insbesondere, wenn der Schaden sich im Frühstadium befindet oder Störsignale dominieren.

Aus diesem Grunde ist es bereits bekannt geworden, bessere Informationen über diese Impulsfolgefrequenzen durch die Analyse der Einhüllenden des Zeitsignals zu erhalten. Diese Hüllkurvenbildung ist ein Verfahren, um ein amplitudenmoduliertes Signal zu demodulieren. Die periodische Anregung der Strukturresonanzen der an der Signalübertragung beteiligten Komponenten (Lager, Gehäuse, Aufnehmer) kann als eine Art Amplitudenmodulation aufgefaßt werden, wobei die Strukturresonanzen, als Trägerfrequenzen und die Impulsfolgefrequenz als Modulationsfrequenz aufgefaßt werden. Dabei kann die Hüllkurve des Zeitsignals entweder durch Gleichrichtung mit nachfolgender Tiefpaßfilterung oder über die sogenannte Hilberttransformation gebildet werden. Im Schadensfall tauchen für die kinematischen Lagerfrequenzen und deren Harmonischen erhöhte Amplituden im Frequenzspektrum des Hüllkurvensignals auf. Durch Trendbeobachtung oder Grenzwertbetrachtung der jeweiligen kinematischen Lagerfrequenz können damit Lagerschäden diagnostiziert werden.

Für diese Art der Diagnose ist allerdings die Kenntnis von Drehzahl und Geometrie des zu überwachenden Lagers nötig. Die Interpretation des Hüllkurvenspektrums ist somit relativ aufwendig. Aus diesem Grunde wurden Kennwerte für die Schadensdiagnose an Lagern eingeführt. Es hat sich jedoch herausgestellt, daß mit diesen Kennwerten nur sehr bedingt eine Schadensfrühd Diagnose durchgeführt werden kann.

Zur Durchführung dieser bekannten Überwachungs-

und Diagnoseverfahren sind Überwachungsvorrichtungen bekannt, die die Hüllkurvenanalyse nutzen. Diese Überwachungsvorrichtungen nehmen mechanische Schwingungen von Maschinen mittels hochwertiger teurer Aufnehmer (meist Beschleunigungssensoren mit linearem Frequenzgang) auf. In einer nachfolgenden Elektronik wird deren elektrisches Signal bandpaßgefiltert, gleichgerichtet und tiefpaßgefiltert. Das entsprechend gefilterte und demodulierte Signal kann dann weiter ausgewertet werden, um die vorerwähnten Kennwerte zu bilden.

Nachteilig bei diesen bekannten Überwachungsvorrichtungen ist ihr relativ hoher Preis und die nur begrenzte Aussagefähigkeit der verwendeten Kennwerte. Dabei resultieren die hohen Kosten aus der Verwendung hochwertiger, industrietauglicher Beschleunigungssensoren (Größenordnung 500,- bis 1.500,- DM). Die auf dem Hüllkurvensignal aufbauenden Kennwerte zur Wälzlagerdiagnose sind meist extrem drehzahlabhängig. Bei niedrigen Drehzahlen ist damit überhaupt keine Diagnose möglich.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Lösung zu schaffen, mit der zum einen auch bei niedrigen Drehzahlen und Wiederholungsfrequenzen eine zuverlässige, einwandfreie Signalaufnahme und Demodulation bei geringem apparativen Aufwand möglich ist und zum anderen unabhängig von den Drehzahlbereichen eine zuverlässige Schadensdiagnose, insbesondere Schadensfrühd Diagnose, durchgeführt werden kann. Diese Aufgabe wird mit einer Vorrichtung der eingangs bezeichneten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Schwingungsaufnehmer von einem eine nicht lineare Kennlinie aufweisenden Vibrationssensor gebildet ist und die Einrichtung zur Filterung und Demodulierung wenigstens einen dem Vibrationssensor nachgeschalteten Gleichrichter oder dgl. zur Hüllkurvenbildung und einen Tief- und/oder Bandpaßfilter aufweist.

Es hat sich überraschend herausgestellt, daß in Verbindung mit den weiteren Elementen ein derartiger, an sich bekannter, nicht linearer Vibrationssensor geeignet ist, auch bei niedrigen Frequenzen zuverlässig und einwandfrei die erforderlichen Schwingungssignale aufzunehmen, wobei überraschend auch ein solcher einfacher Vibrationssensor mit nicht linearer Kennlinie keine entscheidenden, nachteiligen Auswirkungen auf das anzuwendende Hüllkurven- bzw. Demodulationsverfahren hat. Dies liegt in der Tatsache begründet, daß die Trägerfrequenzen nicht betriebspunktabhängig sind, somit also trotz einer nichtlinearen Frequenzkennlinie immer mit dem gleichen Empfindlichkeitswert bewertet werden. Da aber nun die interessierenden Modulationsfrequenzen über diese Trägerfrequenzen übertragen werden, spielt die Nichtlinearität des Aufnehmers für die Aussagefähigkeit bezüglich der Amplitudenbewertung nahezu keine Rolle. Diese Tatsache wird bei den bisherigen, aufwendigen Verfahren nicht berücksichtigt. Die Demodulation erfolgt auf einfacher Weise mittels der dem Vibrationssensor nachgeschalteten Filter und Gleichrichter. Ein solcher an sich bekannter Vibrationssensor (Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer) stellt ein extrem preiswertes, industrietaugliches Element dar, welches ein hochpaßgefiltertes Signal liefert. Dieser auch als Klopf sensor bezeichnete Aufnehmer wird bisher weitgehend an Ottomotoren eingesetzt und registriert dort unerwünschte Schwingungen des Motorblocks, sogenanntes Klopfen, welche durch unkontrollierte Selbstzündungen des Kraftstoff-Luftgemisches verursacht werden. Mit dieser

Information kann dann der Zündzeitpunkt über das Gemisch reguliert werden. Gegenüber bisher für die Hüllkurvenanalyse verwendeten Überwachungssensoren liegen die Kosten für den erfindungsgemäß eingesetzten Sensor nur im Bereich von etwa 5%.

In bestimmten Anwendungsfällen ist es zur Verstärkung des aufgenommenen Signals von Vorteil, daß zwischen dem Vibrationssensor und dem Gleichrichter ein Ladungsverstärker vorgesehen ist. Außerdem können zwischen dem Vibrationssensor und dem Gleichrichter ein oder mehrere Bandpaßfilter vorgesehen sein.

Die eingangs gestellte Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile gelöst, bei welchem das Schwingungssignal des jeweiligen schwingungserregten Bauteils zeitabhängig aufgenommen wird, wobei anschließend dieses Schwingungssignal ggf. einer Filterung unterzogen, nachfolgend demoduliert und anschließend das demodulierte Signal ausgewertet wird, wobei sich das Verfahren erfindungsgemäß dadurch auszeichnet, daß das demodulierte Schwingungssignal vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert wird und anschließend zur Signalauswertung eine Leistungsbestimmung im Frequenzspektrum durchgeführt wird.

Erfindungsgemäß wird somit ausgehend von einem Zeitsignal eines Vibrationssensors zunächst ggf. eine geeignete Filterung des Signals vorgenommen, um Strukturresonanzen der zu überwachenden Maschine oder des Meßsystems hervor zuheben. Dies kann in einzelnen Fällen von wichtiger Bedeutung sein, da die Informationen zur Bewertung des zu diagnostizierenden Bauteils als eine Art Amplitudenmodulation in diesen Frequenzbereichen enthalten sind. Es wird dann anschließend durch ein geeignetes Demodulationsverfahren (z. B. Hilberttransformation) die Hüllkurve gebildet, die in den folgenden Schritten das Erkennen von Impulsfolgefrequenzen ermöglicht. Dieses derart aufbereitete Zeitsignal wird erfindungsgemäß anschließend mittels eines geeigneten, an sich bekannten Verfahrens in den Frequenzbereich transformiert. Das dann vorliegende Frequenzspektrum ermöglicht unabhängig vom Frequenzbereich zuverlässig das Erkennen von Schädigungen bis hin zur Angabe des von der Schädigung betroffenen Einzelbauteils.

Da diese Informationen in der Regel sehr detailliert sind, lassen sich aus den vorliegenden Frequenzsignalen geeignete Kennwerte zur Informationsverdichtung bilden. So wird anschließend eine Leistungsbestimmung im Frequenzspektrum durchgeführt, selbstverständlich im schadensrelevanten Frequenzbereich. So kann die Leistung des Frequenzspektrums in schadensrelevanten Frequenzbereichen beispielsweise mittels Integration des Frequenzspektrums ermittelt werden. Es besteht dann die weitere Möglichkeit, durch die Integration, die Leistung des Signals in verschiedenen, bauteilspezifischen Frequenzbereichen gleichzeitig zu überwachen. Auf Basis einer solchen Kenngröße lassen sich dann weitere definieren, indem der jeweilige Kennwert auf Referenzgrößen im Zeit- oder Frequenzbereich normiert oder mit diesen in geeigneter Weise verglichen wird.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, daß das demodulierte Schwingungssignal einer weiteren Filterung unterzogen wird. Diese Filterung des Zeitsignals nach der Demodulation wird zusätzlich durchgeführt, um nur die Frequenzanteile der nachfolgenden Auswertung und Kennwertbildung zugänglich zu machen, die zur Zustandsbeurteilung des Bauteils

charakteristisch sind. Im Falle eines Wälzlagers sind dies z. B. die kinematischen Frequenzen und deren Harmonische.

In Ausgestaltung ist es dabei grundsätzlich möglich, daß diese weitere Filterung nach der Demodulation des Zeitsignals und vor der Transformation in den Frequenzbereich oder nach der Transformation in den Frequenzbereich durchgeführt wird.

Es hat sich bei Untersuchungen herausgestellt, daß im direkten Vergleich mit herkömmlichen Untersuchungsverfahren zur Wälzlagerdiagnose der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelte Kennwert eine wesentlich höhere Empfindlichkeit in breiten Frequenzbereichen aufweist, so daß mit dem erfindungsgemäß ermittelten Kennwert Lagerschäden unter den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen eindeutig erkannt werden können, was mit bisher bekannten Verfahren bisher nicht möglich ist.

Ferner kann vorgesehen sein, daß das demodulierte Schwingungssignal im Zeitbereich einer Leistungsbestimmung beispielsweise über eine quadratische Mittelwertbildung unterzogen wird.

Die Erfindung ist nachstehend anhand der Zeichnung beispielsweise näher erläutert. Diese zeigt in

Fig. 1 in vereinfachter Darstellung eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit Auswerteinheit,

Fig. 2 ein vereinfachtes Schwingungssignal in Zeitabhängigkeit und in Frequenzabhängigkeit,

Fig. 3 die Hüllkurve des Schwingungssignals nach Fig. 2 in Zeit- und Frequenzabhängigkeit und

Fig. 4 bis 7 Ablaufdiagramme des erfindungsgemäßen Verfahrens in unterschiedlichen Ausgestaltungen.

In Fig. 1 ist zunächst eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile dargestellt. Wesentlicher Bestandteil dieser Vorrichtung ist ein extrem preiswerter, industrietauglicher Vibrationssensor (Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer) mit einer nicht linearen Kennlinie, der ein hochpaßgefiltertes Signal liefert und am oder in der Nähe eines zu überwachenden Bauteils, beispielsweise eines Wälzlagers, angeordnet wird. Ein bekannter Vibrationsaufnehmer dieser Art, der auch als sogenannter Klopfsensor bekannt ist, wird ursprünglich in bzw. an Otto-Motoren eingesetzt. Dort registriert er unerwünschte Schwingungen des Motorblocks, das sogenannte Klopfen, welches durch unkontrollierte Selbstzündungen des Kraftstoff-Luftgemisches verursacht wird.

Dem Klopfsensor nachgeschaltet ist bevorzugt ein Ladungsverstärker mit einem nachgeschalteten Bandpaßfilter zur Bandpaßbegrenzung auf die interessierenden Frequenzbereiche. Dem Bandpaßfilter nachgeschaltet ist ein Gleichrichter sowie diesem ein Tief-/Bandpaßfilter, wobei in diesen beiden Elementen eine Gleichrichtung mit Tiefpaß-/Bandpaßfilterung in Analogtechnik erfolgt.

Eine solche erfindungsgemäße Vorrichtung liefert ein Hüllkurvensignal des aufgenommenen zeitabhängigen Schwingungssignals.

Beispielhaft ist in Fig. 2 ein vereinfachtes Schwingungssignal (Zeitsignal und Frequenzspektrum) eines Wälzlagers bei einer Überrollung eines diskreten Fehlers dargestellt. Derartige diskrete Fehler in den verschiedenen Elementen eines Wälzlagers erzeugen bei einer Überrollung eine periodische Folge von Einzelstößen. Diese Stoßimpulse regen Strukturresonanzen des Lagers, angrenzender Maschinenteile und des Aufnehmers an. Im Schwingungsbild tritt demnach eine regel-

mäßige Folge von angestoßenen Schwingungen auf, die bis zum nächsten Anstoß teilweise oder vollständig ausgeschwungen sind.

Die Impulsfolgefrequenz ist spezifisch für den Wälzlagerschaden und läßt sich bei Kenntnis der Geometrie des Lagers sowie der Drehzahl ermitteln. Je nach Schadensort, beispielsweise Außenring, Innenring, Wälzkörper, ergeben sich unterschiedliche Impulsfolgefrequenzen, die als kinematische Lagerfrequenzen bezeichnet werden. Im Zeit- und Frequenzbereich sind sie nur schwer erkennbar, insbesondere, wenn der Schaden sich im Frühstadium befindet oder Störsignale dominieren.

Aus diesem Grunde versucht man bessere Informationen über diese Impulsfolgefrequenzen durch die Analyse der Einhüllenden des Zeitsignals zu erhalten. Diese Hüllkurvenbildung ist ein Verfahren, um ein amplitudenmoduliertes Signal zu demodulieren. Die periodische Anregung der Strukturresonanzen kann als eine Art Amplitudenmodulation aufgefaßt werden, wobei die Strukturresonanzen die Trägerfrequenz und die Impulsfolgefrequenz die Modulationsfrequenz darstellen.

In der Fig. 3 ist die Hüllkurve und ihr Frequenzspektrum des in Fig. 2 dargestellten Schwingungssignals dargestellt. Ein entsprechendes Signal wird von der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach dem Austritt aus dem Tief-/Bandpaßfilter zur Verfügung gestellt. Das Hüllkurvensignal kann entweder analog weiterverarbeitet werden, beispielsweise zu einem Kennwert, basierend auf dem Leistungsgehalt des Hüllkurvensignals oder es wird digitalisiert und mit einem Rechner ausgewertet, was vereinfacht in Fig. 1 durch das mit Auswerteeinheit bezeichnete Element angedeutet ist, welches der erfindungsgemäßen Vorrichtung nachgeschaltet ist.

Da das derart gewonnene Hüllkurvensignal sehr viel niederfrequenter als das Zeitsignal ist, ergeben sich folgende entscheidende Vorteile:

Durch die niedrige Abtastrate können Daten über einen längeren Zeitraum bei gleicher Speichertiefe der A/D-Karte gesammelt werden. Dadurch können auch Maschinen mit sehr niedrigen Drehzahlen überwacht werden. Die niedrige Abtastrate ermöglicht auch die Verwendung einer extrem preiswerten A/D-Wandlerkarte, Größenordnung Faktor 10 preiswerter.

In den Fig. 4 bis 7 sind verschiedene Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile dargestellt. Gemäß der Verfahrensführung nach Fig. 4 wird zunächst das Zeitsignal (Fig. 2) geeignet gefiltert, um die Strukturresonanzen der zu überwachenden Maschine oder des Meßsystems hervorzuheben. Dies kann im Einzelfall von entscheidender Bedeutung sein, da die Informationen zur Bewertung des zu diagnostizierenden Bauteils als eine Art Amplitudenmodulation in diesen Frequenzbereichen enthalten sind.

Anschließend wird durch ein geeignetes Demodulationsverfahren (z. B. Hilberttransformation) die Hüllkurve gebildet (Fig. 3), die in den folgenden Schritten das Erkennen von Impulsfolgefrequenzen ermöglicht. Dieses Zeitsignal wird anschließend erneut gefiltert, um nur die Frequenzanteile der nachfolgenden Auswertung zugänglich zu machen, die zur Zustandsbeurteilung des Bauteils charakteristisch sind. Im Falle eines Wälzlagers sind dies z. B. die kinematischen Frequenzen.

Ein derart aufbereitetes Zeitsignal, das beispielsweise von der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Fig. 1 geliefert wird, wird anschließend in einer Auswerteeinheit mit einem geeigneten Verfahren z. B. FFT (Fast Fourier Transformation) in den Frequenzbereich transformiert.

Das jetzt vorliegende Frequenzspektrum ermöglicht das Erkennen von Schädigungen bis hin zur Angabe der von der Schädigung betroffenen Einzelbauteile. Da diese Informationen in der Regel zu detailliert sind, lassen sich aus dem vorliegenden Frequenzsignal geeignete Kennwerte zur Informationsverdichtung bilden.

Dazu wird mittels Integration des Leistungsdichtespektrums der vorher ermittelten Hüllkurve die Leistung des demodulierten Zeitsignals (Ldz) in schadensrelevanten Frequenzbereichen ermittelt. Hier besteht insbesondere die Möglichkeit, durch die Integration die Leistung des Signals in verschiedenen bauteilspezifischen Frequenzbereichen gleichzeitig zu überwachen. Auf Basis dieser Kenngröße lassen sich weitere definieren, indem der Kennwert auf Referenzgrößen im Zeit- oder Frequenzbereich normiert oder mit diesen in geeigneter Form verglichen wird.

Es hat sich herausgestellt, daß im Vergleich mit bekannten Untersuchungsverfahren zur Wälzlagerdiagnose der nach dem vorbeschriebenen Verfahren ermittelte Kennwert LdZ eine wesentlich höhere Empfindlichkeit aufweist. Mit diesem LdZ-Kennwert können Lagerschäden unter den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen eindeutig erkannt werden. Insbesondere eignet sich das Verfahren auch zum Detektieren von Schädigungen bei geringen Drehzahlen bzw. geringer Wiederholfrequenz von Ereignissen.

In Fig. 5 ist eine abgewandelte Verfahrensführung dargestellt. Nach der Demodulation erfolgt bei dieser Verfahrensführung zunächst die Transformation in den Frequenzbereich, anschließend wird erst im Frequenzbereich die Filterung zur Eliminierung bauteilspezifischer Frequenzbereiche vorgenommen.

Gemäß den Verfahrensbeispielen nach Fig. 6 und 7 wird alternativ vor der Demodulation des Zeitsignals keine Filterung zur Hervorhebung von Strukturresonanzen vorgenommen, dies ist in bestimmten Anwendungsfällen günstig. Dabei unterscheiden sich die Verfahrensführungen gemäß Fig. 6 und 7 dadurch, daß bei der Verfahrensführung gemäß Fig. 6 die Filterung des demodulierten Signals im Zeitbereich erfolgt, während diese Filterung bei der Verfahrensführung nach Fig. 7 im Frequenzbereich vorgenommen wird, d. h. nach der Transformation.

Natürlich eignet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur zur Überwachung und Diagnose an Wälzlager, sondern prinzipiell für jegliche Art von schwingungserregten Bauteilen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile mit einem Schwingungsaufnehmer und einer Einrichtung zur Filterung und Demodulierung des aufgenommenen Schwingungssignals des jeweiligen schwingungserregten Bauteils, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schwingungsaufnehmer von einem eine nichtlineare Kennlinie aufweisenden Vibrationssensor gebildet ist und die Einrichtung zur Filterung und Demodulierung wenigstens einen dem Vibrationssensor nachgeschalteten Gleichrichter oder dgl. zur Hüllkurvenbildung und einen Tief- und/oder Bandpaßfilter aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Vibrationssensor und dem Gleichrichter ein Ladungsverstärker vorgesehen ist.

hen ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Vibrationssensor und dem Gleichrichter wenigstens ein Bandpaßfilter vorgesehen ist.

4. Verfahren zur Überwachung und Diagnose schwingungserregter Bauteile, insbesondere mit einer Vorrichtung nach Anspruch 1 oder einem der folgenden, bei welchem das Schwingungssignal des jeweiligen schwingungserregten Bauteils zeitabhängig aufgenommen wird, wobei anschließend dieses Schwingungssignal ggf. einer Filterung unterzogen, nachfolgend demoduliert und anschließend das demodulierte Signal ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das demodulierte Schwingungssignal vom Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert wird und anschließend zur Signalauswertung eine Leistungsbestimmung im Frequenzspektrum durchgeführt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das demodulierte Schwingungssignal einer weiteren Filterung unterzogen wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Filterung vor der Transformation in den Frequenzbereich durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die weitere Filterung nach der Transformation in den Frequenzbereich durchgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das demodulierte Schwingungssignal im Zeitbereich einer Leistungsbestimmung unterzogen wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

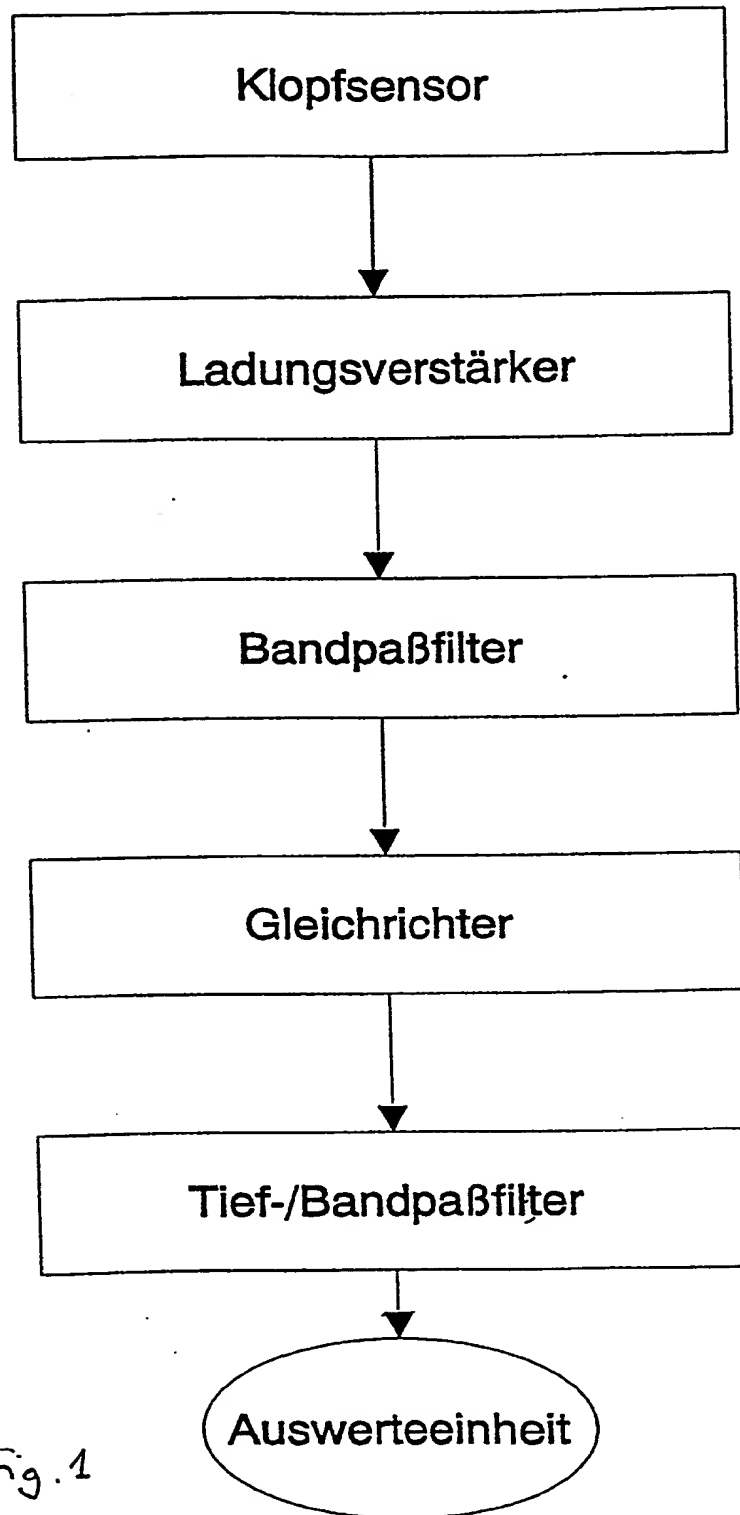


Fig.2: Zeitsignal und zugehöriges Frequenzspektrum

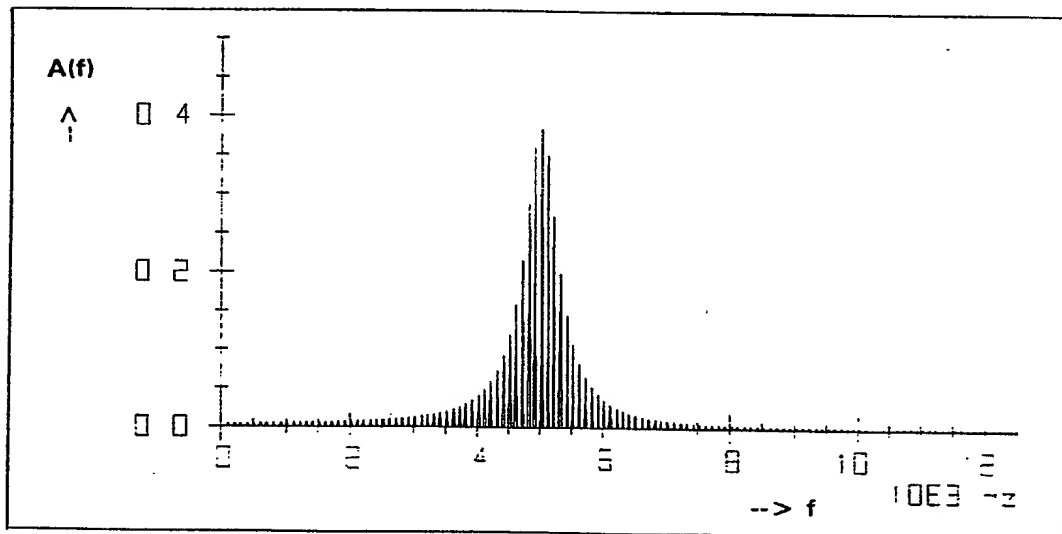
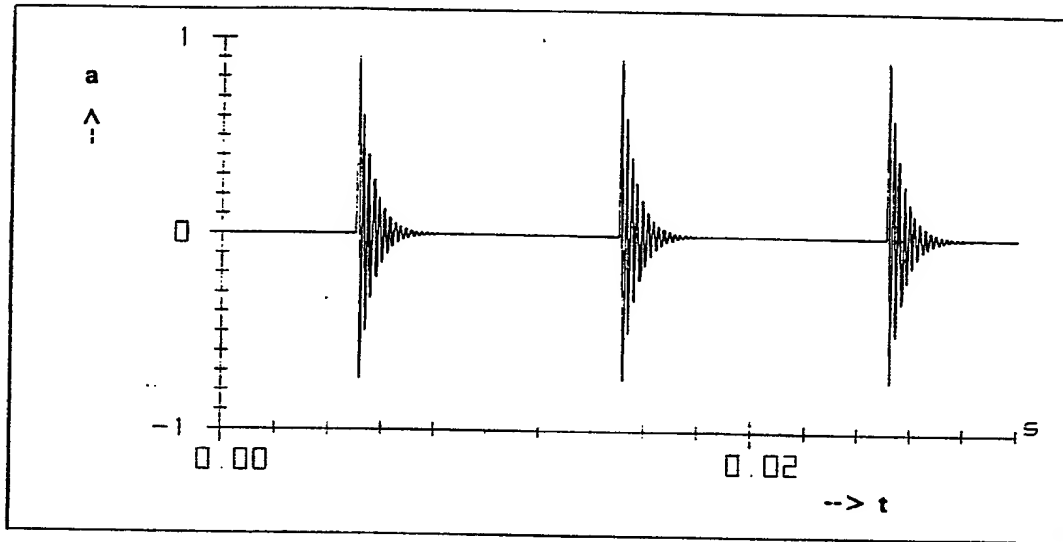
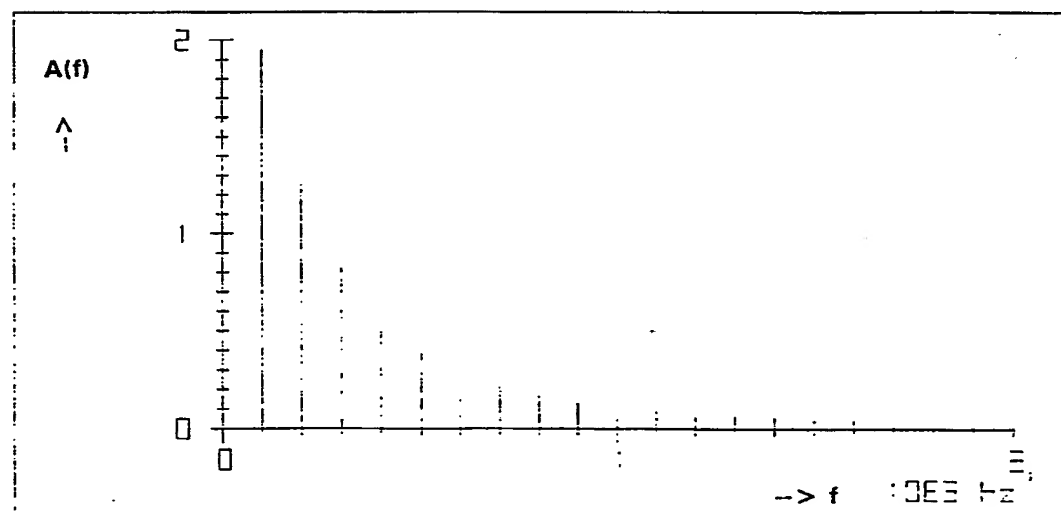
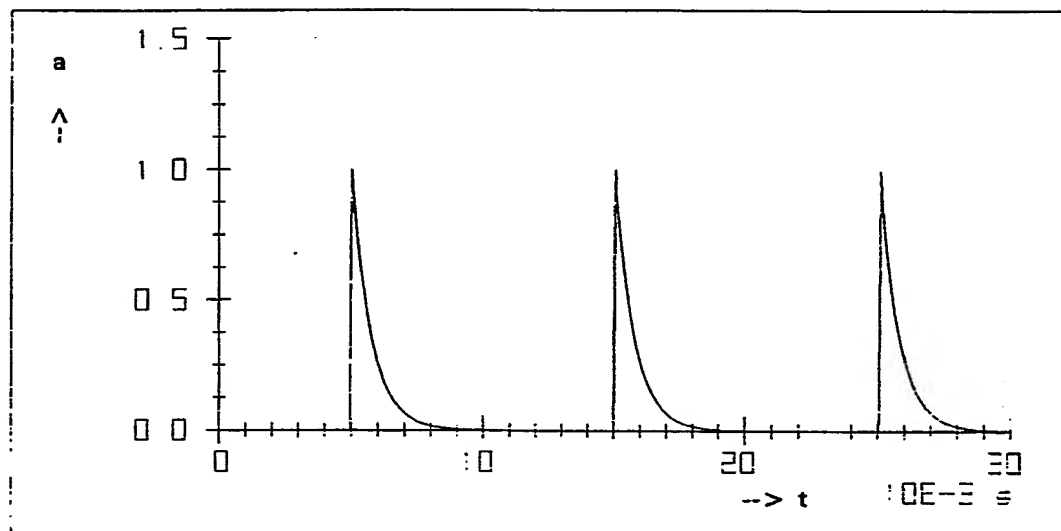


Fig.3: Hüllkurvensignal und zugehöriges Frequenzspektrum



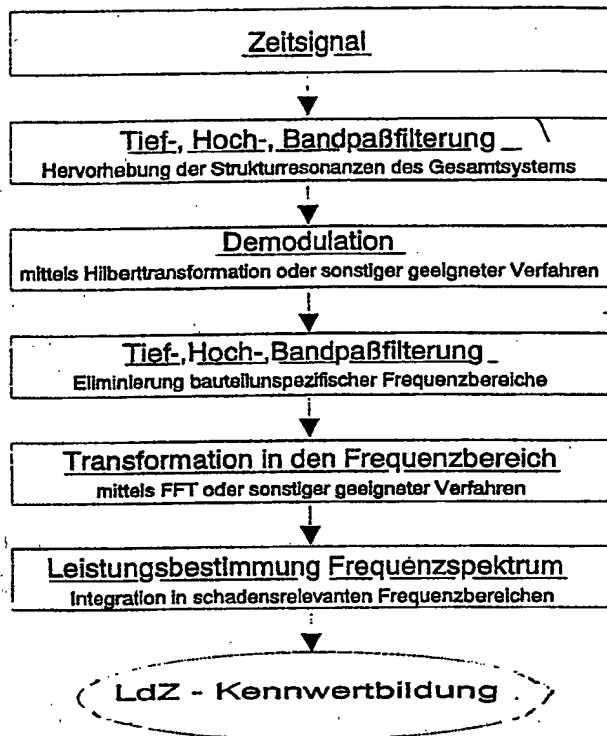


Fig. 4

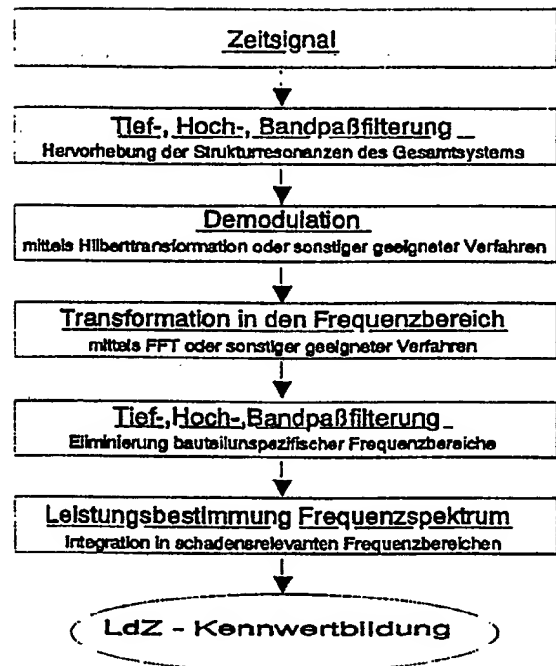


Fig. 5

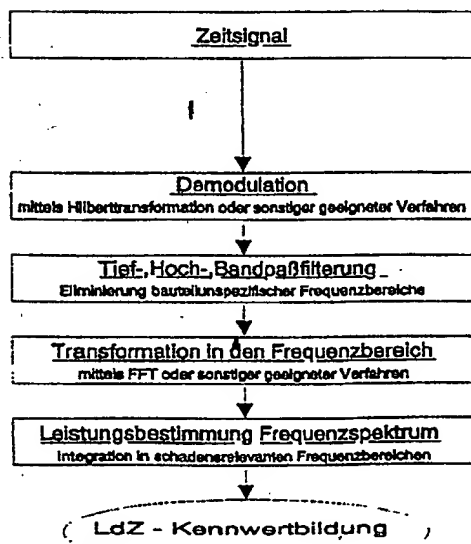


Fig. 6

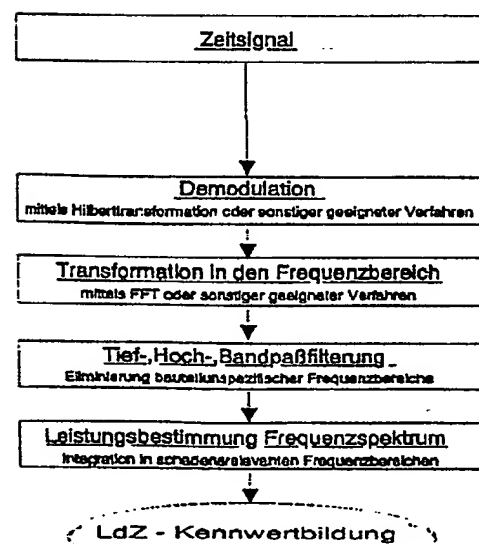


Fig. 7